

УДК 621

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ПОЛИМЕРОВ****Морозов Д.А.<sup>1</sup>, Кмита К.Ю.<sup>2</sup>, Пантелеев К.В.<sup>1</sup>,**<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ОАО «Газпром трансгаз Беларусь»

Минск, Республика Беларусь

В работе приводятся результаты экспериментальных исследований параметров пространственного перераспределения поверхностного электростатического потенциала полимерных материалов при механическом растяжении. Исследования проводили на установке, реализующей сканирующий режим зонда Кельвина, разработанной в Белорусском национальном техническом университете. В качестве системы нагружения использован разработанный и изготовленный макет системы для растяжения образцов.

На рисунке 1 приведена твердотельная модель разработанной в САПР SolidWorks система нагружения образцов, предназначенной для работы в составе системы сканирования электростатических потенциалов. На рисунке 2 приведен внешний вид изготовленного макета и его использование в процессе измерения пространственного распределения электростатического потенциала полимерного образца.

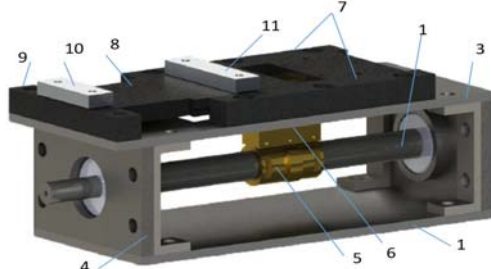


Рисунок 1 – Твердотельная модель системы для растяжения полимерных образцов:

1 – винт; 2 – нижнее основание; 3 – верхнее основание; 4 – основания под направляющую с подшипником; 5 – гайка; 6 – соединитель; 7 – направляющие; 8 – подвижный стол; 9 – пластина с держателем образцов; 10 – неподвижный зажим; 11 – подвижный зажим

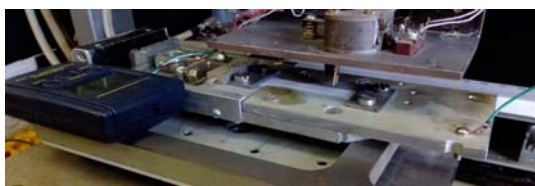


Рисунок 2 – Внешний вид макета системы растяжения полимерных образцов в процессе измерения поверхностного электростатического потенциала

Установка для растяжения образцов из полимерных материалов состоит из нижнего 2 и верхнего 3 оснований, между которыми установлены 2 основания под подшипник 4, в которых через

подшипники закреплен винт 1. На верхнем основании 3 закреплены направляющие 7, по которым перемещается стол 8. Так же на верхнем основании 3 закреплена пластина под зажим 9 таким образом, чтобы она была той же высоты, что и стол 8 и была неподвижна относительно него. С помощью малого зажима 10 и большого зажима 11 оба конца исследуемого образца закрепляются на пластине 9 и столе 8 соответственно. При вращении винта 1 гайка 5 перемещается вдоль его оси и при помощи соединителя 6 перемещает стол 8 по рельсам 7, тем самым растягивая образец.

В качестве измерителя нагрузки использован тензометрический датчик из бытовых весов «Portable Electronic Scale» (рисунок 2). Согласно техническим характеристикам, диапазон измерений датчика составляет от 10 грамм до 40 килограмм с точностью от 10 грамм. Для определения нагрузки при растяжении образцов тензометрический датчик сопряжен с ходовым винтом через упругий элемент (пружину). Пружина обеспечивает плавное нагружение. Из дополнительных функций датчик имеет возможность блокировки веса. Функция нужна для сохранения показаний датчика в момент разрыва образца. Также возможно измерение температуры окружающей среды, что наравне с влажностью имеет важное значение при испытании полимерных материалов.

В качестве образца для экспериментальных исследований использован листовый фторопласт-4 толщиной 1 мм, изготовленный в форме двойной лопатки, ширина узкой области составила 5 мм.

Сканирование распределения поверхностного потенциала выполняли после каждого шага нагружения, равного 2 кгс. Полный разрыв образца, вследствие ограничения хода винта, достигнут не был. Результаты измерений представлены в виде топографических карт, приведенных на рисунке 3. Статистическая обработка измерительных данных проведена путем построения гистограмм распределения поверхностного электростатического потенциала на каждом из этапов нагружения образцов (рисунок 4).

Из карт распределения потенциала обнаружено изменение как параметров распределения потенциала (увеличение области локализации), так и рост численного значения в области шейки. Наблюдаемый эффект согласуется с тем, что механическое растяжение приводит к изменению компактности структуры материала и, следовательно, к изменению объема, занимаемого сво-

бодными электронами, что приводит к перераспределению потенциала, как и в случае металлов [1–4]. Из гистограмм видно, что в общем случае характер распределения нормальный. При этом с увеличением нагрузки наблюдается рост асимметрии в лево, т.е. рекомбинация электронов на различных структурных уровнях проявляется в виде смещения поверхностного потенциала в область действия механических напряжений. При 5 кгс (рисунок 3, *е* и 4, *е*), наблюдается максимальное относительное значение потенциала (–60 мВ), сосредоточенного в области локализации механических напряжений. При дальнейшем

увеличении нагрузки экстремум не превышает по модулю (–50 мВ). Таким образом при нагружении с относительным значением 5 кгс происходит некоторое насыщение, при котором дальнейший рост потенциала не наблюдается. Также, при этом, гистограмма распределения имеет аномальный пик. Из карты распределения, соответствующей нагрузке 5 кгс (рисунок 3, *е*) видно, что распределение относительно однородно по поверхности образца. Вероятно, на данном этапе испытания происходит переход от одного вида преобладающего деформирования к другому (от пластического к упругому).

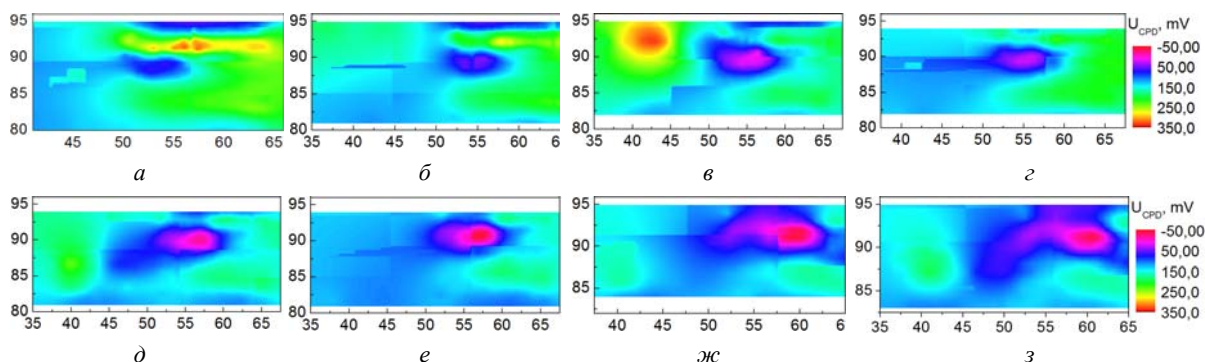


Рисунок 4 – Карты пространственного распределения поверхностного электростатического потенциала образца из фторопласта-4 при механическом растяжении:  
*а* – 0,1 кгс; *б* – 1 кгс; *в* – 2 кгс; *г* – 3 кгс; *д* – 4 кгс; *е* – 5 кгс; *ж* – 6 кгс; *з* – 7 кгс

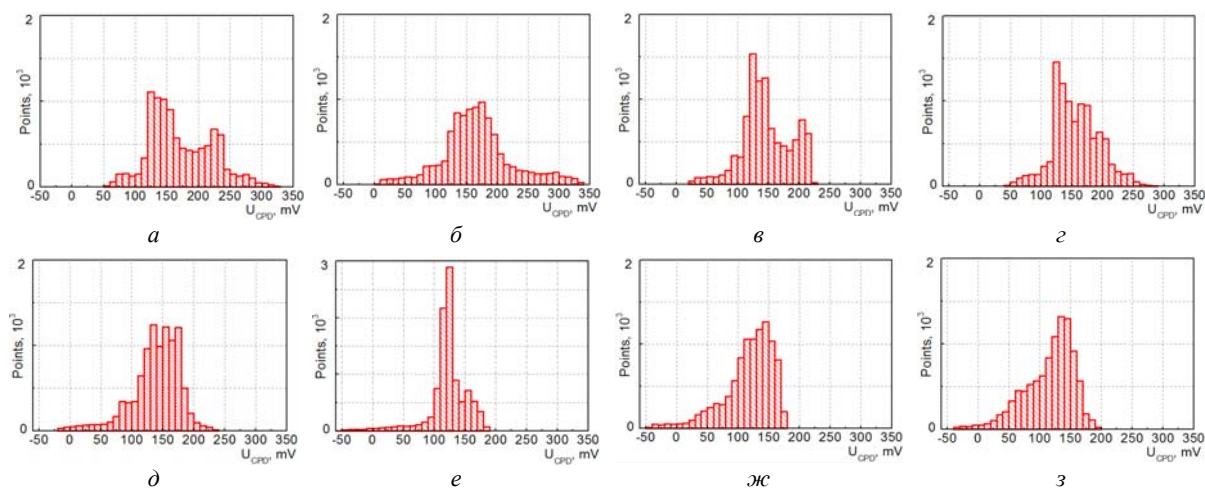


Рисунок 5 – Гистограммы пространственного распределения поверхностного электростатического потенциала образца из фторопласта-4 при механическом растяжении:  
*а* – 0,1 кгс; *б* – 1 кгс; *в* – 2 кгс; *г* – 3 кгс; *д* – 4 кгс; *е* – 5 кгс; *ж* – 6 кгс; *з* – 7 кгс

Результаты эксперимента показывают возможность использования зарядочувствительных методов для контроля напряженно-деформационного состояния полимерных материалов, для изучения механизмов зарождения и распространения деформационных дефектов в объеме материала и поверхности, а также закономерностей протекающих при этом процессов.

#### Литература

1. Zharin A., Pansialeyeu K., Opielak M., Rogalski P. Charge sensitive techniques in tribology studies. *Przeegląd Elektrotechniczny* 92 (11), 2016, 239–243.

2. Тявловский А.К., Пантелеев К.В., Жарин А.Л. Методы зондовой электрометрии для разработки и исследования свойств перспективных материалов. *Перспективные материалы и технологии*, 2015, с. 381–394.

3. Zharin A., Pansialeyeu K., Kierczyński K. Charge sensitive techniques in control of the homogeneity of optical metallic surfaces. *Przeegląd Elektrotechniczny*, 92 (8), 2016, pp. 190–193.

4. Жарин А.Л., Пантелеев К.В., Свистун А.И. Исследование локальных деформаций материалов методами зондовой электрометрии при различных видах нагружения. *Современные методы и технологии создания и обработки материалов*, 2015, с. 39–46.